Aus der Abteilung für Sportmedizin
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. D. Jeschke
des Zentrums Innere Medizin der Universität Tübingen

VERGLEICH EINES TRAGBAREN SPIROMETRIEGERÄTS MIT EINEM ORTSGEBUNDENEN SPIROERGOMETRISCHEN MESSPLATZ

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
SIEGFRIED THOMA
aus Baienfurt

1981

Aus der Abteilung für Sportmedizin
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. D. Jeschke
des Zentrums Innere Medizin der Universität Tübingen

VERGLEICH EINES TRAGBAREN SPIROMETRIEGERÄTS MIT EINEM ORTSGEBUNDENEN SPIROERGOMETRISCHEN MESSPLATZ

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
SIEGFRIED THOMA
aus Baienfurt

1981

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. G. Rassner

1. Berichterstatter: Professor Dr. D. Jeschke
2. Berichterstatter: Professor Dr. H. Konietzko

---

gedruckt bei Fa. H. - J. Köhler , Reprografiebetrieb , Tübingen

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung und Fragestellung	1
2.	Methode	3
2.1.	Oxycon P	3
2.2.	Computer-Spiroergometrieanlage	7
2.3.	Versuchsaufbau und Untersuchungsablauf	9
2.3.1.	Relative steady-state-Belastung	10
2.3.2.	"Vita maxima"-Belastung	10
2.3.3.	Intermittierende Belastung	11
2.3.4.	Koppelung der Anlagen	12
2.3.5.	Versuchspersonen	13
2.4.	Statistische Auswertung der Meßergebnisse	14
3.	Ergebnisse	16
3.1.	Überprüfung der Gasuhren mit einer Eichpumpe	16
3.2.	Vergleich der Atemminutenvolumina	18
3.2.1.	Vergleich der Atemminutenvolumina unter relativer steady-state-Belastung	18
3.2.2.	Vergleich der Atemminutenvolumina unter "Vita maxima"-Belastung	19
3.3.	Mittlere Differenzen der Werte $\Delta O_2\%$	20
3.3.1.	Vergleich der Werte $\Delta O_2\%$ unter relativer steady-state-Belastung	20
3.3.2.	Vergleich der Werte $\Delta O_2\%$ unter "Vita maxima"-Belastung	21

3.4.	Regressionsanalyse der Atemminuten-volumina	22
3.4.1.	Vergleich der Atemminutenvolumina bei der relativen steady-state-Belastung	22
3.4.2.	Vergleich der Atemminutenvolumina bei der "Vita maxima"-Belastung	24
3.4.3.	Vergleich der Atemminutenvolumina bei der intermittierenden Belastung	26
3.5.	Regressionsanalyse der Sauerstoffauf-nahmewerte	27
3.5.1.	Vergleich der Sauerstoffaufnahmewerte bei der relativen steady-state-Belastung	28
3.5.2.	Vergleich der Sauerstoffaufnahmewerte bei der "Vita maxima"-Belastung	29
3.5.3.	Vergleich der Sauerstoffaufnahmewerte bei der intermittierenden Belastung	31
3.6.	Subjektive Angaben der Versuchspersonen	33
4.	Diskussion	34
4.1.	Diskussion der Methode	34
4.1.1.	Grundsätze der Versuchsplanung	35
4.1.2.	Diskussion der Meßanordnung	36
4.2.	Diskussion der Ergebnisse	37
4.2.1.	Diskussion der Atemminutenvolumina	37
4.2.2.	Diskussion der Sauerstoffaufnahmewerte	39
4.3.	Schlußfolgerungen für die Praxis	41

5. Zusammenfassung 43

6. Tabellenanhang 44

7. Literaturverzeichnis 65

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548919_0052

1. Einleitung und Fragestellung

Bei einer einfachen ergometrischen Untersuchung werden als physiologische Parameter die Herzfrequenz, das Blutdruckverhalten und meistens noch das EKG erfaßt. Diese mit geringem Aufwand ermittelbaren Parameter erlauben aufgrund von Normdaten eine grobe Abschätzung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit (16,25). Wegen der individuellen Schwankungsbreite kann aber z. B. bei älteren Menschen aus der Belastungspulsfrequenz die Stoffwechselrate nicht mehr direkt berechnet werden (7,14). Hier gibt die Bestimmung von spirometrischen Meßgrößen wie Atemfrequenz, Atemzeitvolumen, Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxidabgabe einen umfassenderen Einblick sowohl in die kardiale als auch in die pulmonale Leistungsfähigkeit des Körpers. Das Prinzip dieser Spiroergometrie wurde bereits 1929 von Brauer und Knipping eingeführt (11). Die Analysengeräte zur fortlaufenden Bestimmung der Gaskonzentrationen sind inzwischen so gut entwickelt worden, daß sie einem Vergleich mit der Mikroanalyse nach Scholander standhalten (23).

Die Bestimmung von Atemminutenvolumen (AMV) und Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}\ O_2$) konnte bisher nur an einem stationären spiroergometrischen Meßplatz im Labor erfolgen. Hüllemann berichtet aber, daß die im Labor durch Fahrradergometrie gewonnenen Ergebnisse nicht exakt auf "lebensechte Bedingungen" übertragbar sind (12). So hatte z. B.

ein Patient bei Ergometerbelastung immer ein einwandfreies EKG, bei einer gleich großen Alltagsbelastung aber ein telemetrisch übermitteltes pathologisches EKG.
Die telemetrische Datenübermittlung ermöglicht die spirometrische Untersuchung des Menschen unter natürlichen Bedingungen. Der Getestete ist vom Untersucher getrennt und wird nicht durch die Laborsituation beeinflußt (15). Ausserdem ist die Messung der mit den herkömmlichen Untersuchungsmethoden nicht zugänglichen Phase während der Ausübung einer Tätigkeit (Treppensteigen, sportliche Betätigung) möglich.
1969 wurde Oxycon P, ein tragbares Spirometriegerät zur kontinuierlichen Messung von AMV und O_2-Aufnahme entwikkelt. Es erlaubt außerdem die telemetrische Übermittlung der Meßdaten. Aufgrund dieser Konzeption kann es im Gegensatz zu standortgebundenen Meßplätzen auch im Feldversuch eingesetzt werden.
Diese Arbeit will im direkten Vergleich mit einem in der Praxis bewährten (14) spiroergometrischen Meßplatz abklären, ob Oxycon P für die in der Klinik üblichen Untersuchungen verwendbar ist. Bei dieser Aufgabenstellung kann nicht festgestellt werden, welche Anlage richtig und welche falsch mißt. Eingehendere Untersuchungen zur Validität von Oxycon P legte Eger (5) vor. Hier werden lediglich die bei der Messung von Ventilationsgrößen auftretenden Differenzen zwischen beiden Anlagen beobachtet.

2. Methode

2.1. Oxycon P

Oxycon P ist eine tragbare Spirometrieanlage zur Messung von Atemminutenvolumen und Sauerstoffaufnahme (Fa. Mijnhardt, Odijk, Holland. Vertrieb in der BRD durch Fa. Hellige, Freiburg). Das Gerät wiegt 6,4 kg und hat die Ausmaße 34 x 30 x 14 cm. Inzwischen wurde es verkleinert und wiegt noch ca. 4 kg. Während der Untersuchung wird das Gerät als Rucksack getragen. Die Messung von Atemminutenvolumen und Sauerstoffaufnahme erfolgt im halboffenen System: Die Exspirationsluft gelangt von der Versuchsperson über eine Maske (Fa. Jäger, Würzburg) durch ein Auslaßventil und über einen 98 cm langen Schlauch in die Gasuhr. Die Respirationsuhr besteht aus zwei Meßkammern mit je einem Liter Füllungskapazität (two bag system). Diese sind durch eine Zwischenmembran getrennt. Durch das abwechselnde Füllen und Leeren der zwei Kammern wird über die Membran eine Lochscheibe in Rotation versetzt. Eine Fotozelle hinter der Lochscheibe gibt nun pro 100 ml Exspirationsluft einen elektrischen Impuls ab. Der Atemwiderstand dieses Systems entspricht nach Angaben des Herstellers den Werten der Respirationsuhr des Max-Planck-Instituts für Arbeitsphysiologie in Dortmund (18,20):

Durchfluß in l	Widerstand der Gasuhr
25 l	0,75 cm Wassersäule
50 l	1,5 cm "
100 l	3,0 cm "
200 l	8,0 cm "

Die Analyse des Sauerstoffgehalts der Exspirationsluft erfolgt folgendermaßen: Von der Gasuhr gelangt die Exspirationsluft in eine Mischtrommel. Die Einlaßöffnung ist tangential, sodaß in der Trommel eine zirkuläre Luftbewegung herrscht und damit eine gute Durchmischung der Luft gewährleistet ist. Die Auslaßöffnung befindet sich im Zentrum der Trommel, von ihr diffundiert das Gas zur O_2-Meßzelle (3). Die Messung erfolgt nach dem polarographischen Prinzip: Der Analysator besteht aus zwei thermisch gekoppelten Meßzellen. Sauerstoff der Exspirationsluft lagert sich an einer Silberkathode an, die Meßzelle wird dadurch polarisiert. Der Stromfluß durch die Zelle entspricht der Sauerstoffkonzentration der Exspirationsluft. Eine Vergleichszelle mißt den Sauerstoffgehalt der Außenluft. Eine Spannungsdifferenz von 0,5 V zwischen beiden Zellen entspricht 1 % Sauerstoffdifferenz zwischen In- und Exspirationsluft (2,10). Die gemessenen Werte können über Kabel oder telemetrisch an den stationären Teil der Anlage übermittelt werden. Der stationäre Teil von Oxycon P zeigt minütlich das

Abb. 1: Die Versuchsperson trägt Oxycon P mit Sender auf dem Rücken. Sie atmet über zwei Einlaßventile an der Maske ein. Die Exspirationsluft gelangt über ein Auslaßventil und den Schlauch in das Gerät.

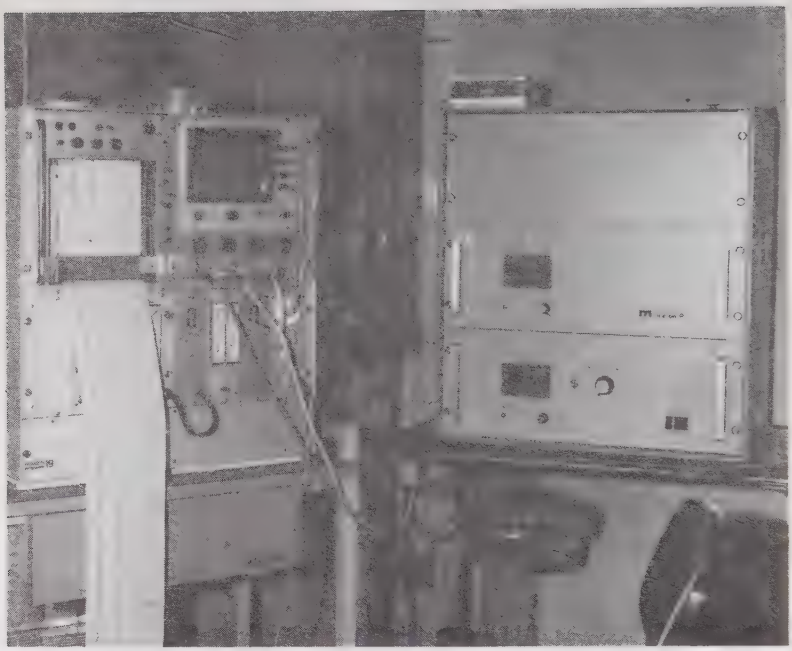

Abb. 2: Rechts steht der stationäre Teil von Oxycon P. Einminütige Anzeige von AMV (oben) und ΔO_2 % (unten).
Links: Hellige Programm 19. Vorgeschalteter Empfänger mit Kardioskop und Dreikanalschreiber.

Atemminutenvolumen in l/min und die Sauerstoffdifferenz ΔO_2 in % an. Das Atemminutenvolumen muß auf BTPS umgerechnet werden. Die O_2-Aufnahme erhält man durch Multiplikation von AMV x ΔO_2 %. Das Ergebnis muß auf STPD umgerechnet werden.

2.2. Computer-Spiroergometrieanlage

Bei dieser Anlage handelt es sich um einen großen stationären Funktionsmeßplatz (Vertrieb durch Fa. Fenyves & Gut, Basel).

Das Atemminutenvolumen wird durch einen Pneumotachographen bestimmt (20). Das Prinzip der Messung von Atemzeitvolumina durch einen Fleisch'schen Pneumotachographen beruht auf dem Poiseuilleschen Gesetz: Längs eines Rohres besteht bei laminarer Strömung zwischen zwei Punkten eine Druckdifferenz, die der Geschwindigkeit des Atemstroms und dem Atemzeitvolumen direkt proportional ist. Es muß betont werden, daß er nur den Druckunterschied, nicht den absoluten Druck mißt.

Am Pneumotachographen werden geringe Gasmengen zur Analyse abgesaugt: Der O_2-Gehalt der Exspirationsluft wird durch Oxytest S (Fa. Hartmann & Braun) gemessen. Es ist ein O_2-Analysator mit praktisch vernachlässigbarer Trägergasabhängigkeit zur Messung

schnell veränderlicher O_2-Konzentrationen (8). Die Analyse erfolgt nach dem magnetischen Prinzip: Sauerstoff ist ein paramagnetischer Stoff, während die übrigen Gase der Luft schwach diamagnetisch sind. Daher kann der O_2-Anteil eines Gasgemisches durch Messung der magnetischen Suszeptibilität mit großer Genauigkeit ermittelt werden. Nach Mellerowicz (20) hat dieses Gerät durch eine sehr kurze Ansprechzeit (unter 150 msec) und die Linearität der Anzeige über den gesamten Meßbereich besondere Vorteile gegenüber chemischen Analyseverfahren.

Uras MT (Fa. Hartmann & Braun) bestimmt den CO_2-Gehalt der Exspirationsluft. Bei der Analyse wird nach dem Prinzip des Lambert-Beerschen Absorptionsgesetzes das spezifische Absorptionsspektrum im infraroten Spektralbereich ausgenutzt (9).

Die Anlage enthält ausserdem eine Pulse-rate-Einheit, welche die Messung der peripheren oder der zentralen Pulsfrequenzen erlaubt.

Sämtliche Primärdaten der Funktionsmeßplätze Pneumotachograph, Oxytest und Uras MT werden als Analogsignale im Interface erfaßt und in Digitalsignale umgewandelt. Damit sind sie für den dahintergeschalteten Computer verständlich. Dieser kann nun je nach eingegebenem Programm außer den Primärdaten AMV (BTPS), O_2-Aufnahme (STPD), CO_2-Abgabe, Pulsfrequenz, Atemfre-

quenz noch Sekundärdaten wie respiratorischen Quotienten, Atemäquivalent, O_2-Puls und Energieumsatz berechnen und ausdrucken.

2.3. Versuchsaufbau und Untersuchungsablauf

In einem Vorversuch wurde mittels einer Eichpumpe die Gasuhr von Oxycon überprüft. Dann sollten gemäß der Fragestellung die spirometrischen Meßwerte beider Anlagen simultan erfaßt und miteinander verglichen werden. Diese Werte wurden bei spiroergometrischen Untersuchungen gewonnen, wie sie in der Klinik üblicherweise angewendet werden. Im allgemeinen wird eine stufenweise gesteigerte Belastungsform gewählt, wobei sich die Belastungsstufen nach dem Patientengut richten: Bei leistungsschwachen Personen sind Stufen von 25 Watt zweckmäßig (Kinder, Patienten), bei Normalpersonen 50 Watt-Stufen, Sportler beginnen erst bei 100 Watt und steigern jeweils um 50 Watt bis in den Erschöpfungsbereich (17,20). Die Dauer einer Belastungsstufe variiert zwischen 2 und 6 Minuten, je nach dem Ziel der Untersuchung (21).
Bei den Untersuchungen wurde ein wirbelstromgebremstes Fahrradergometer (Elema Schönander, Stockholm) benutzt. Die Belastung erfolgte bei einer Drehfrequenz von 60 Hz, sie konnte um jeweils 25 Watt bis maximal 350 Watt erhöht werden. Es wurden drei nachfolgend beschriebene Belastungsverfahren von jeder Versuchsperson in rein zufälliger Reihenfolge durchgeführt.

2.3.1. Relative steady-state-Belastung

Die Belastung wurde in 25 Watt-Stufen von 0 bis 100 Watt gesteigert. Eine Belastungsstufe dauerte 6 Minuten. Dieser Belastungsmodus wurde gewählt, um die Ventilationsgrößen unter relativen steady-state-Bedingungen zu erhalten und um vorwiegend bei niederen Belastungsstufen, wie sie z.B. bei der Rehabilitation von Herzinfarktpatienten von Interesse sind, möglichst viele Meßwerte zu gewinnen.

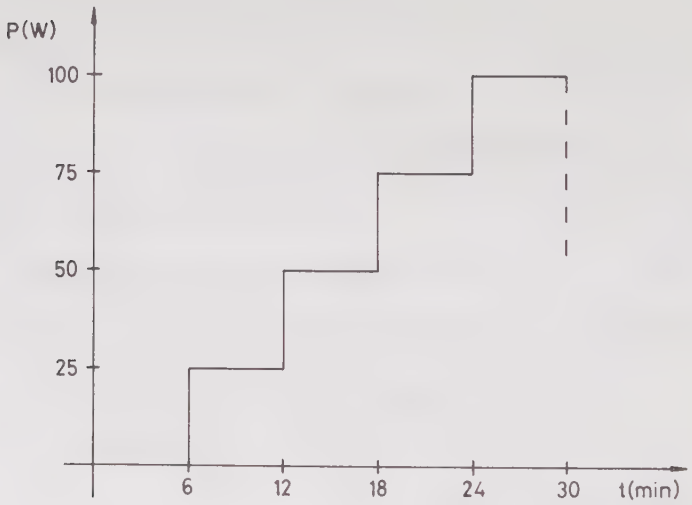

Abb. 3: Stufenweise Steigerung der Belastung unter relativen steady-state-Bedingungen

2.3.2. "Vita maxima"-Belastung

Die Belastung wurde von 0 Watt um jeweils 50 Watt bis

zur Leistungsgrenze gesteigert. Eine Belastungsstufe dauerte 2 Minuten. Mit diesem Versuch wurde beabsichtigt, über maximale Ventilationsgrößen Aufschluß zu erhalten.

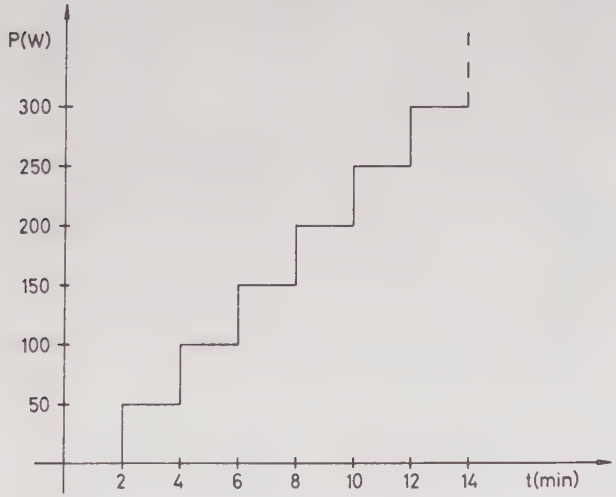

Abb. 4: Schema der "Vita maxima"-Belastung

2.3.3. Intermittierende Belastung

Einer einminütigen Belastung wurde jeweils eine ebenso lange Erholungsphase angeschlossen. Die Belastungsintensität wurde stufenweise bis 200 Watt verdoppelt. Diese Belastungsform sollte es ermöglichen, bei abrupten Änderungen der Ventilationsgrößen das Meßverhalten der beiden Anlagen zu beobachten.

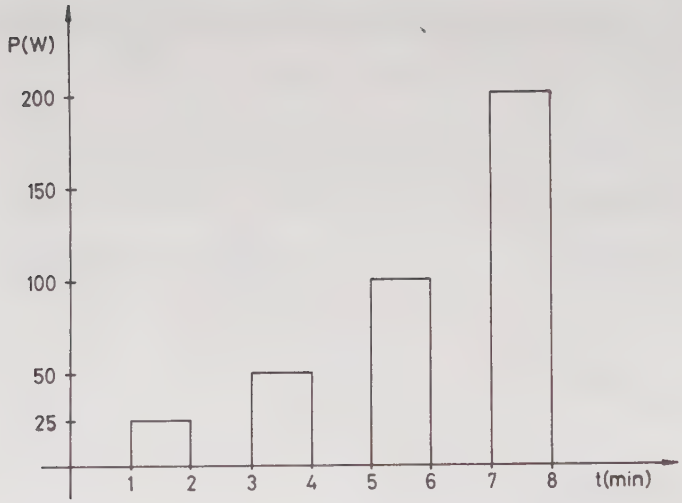

Abb. 5: Schema der intermittierenden Belastung

2.3.4. Koppelung der Spirometrieanlagen

Um eine simultane Erfassung der Meßwerte beider Anlagen zu gewährleisten, wurden sie durch einen konischen Adapter hintereinandergeschaltet. An der Gesichtsmaske befand sich kein Ventil.

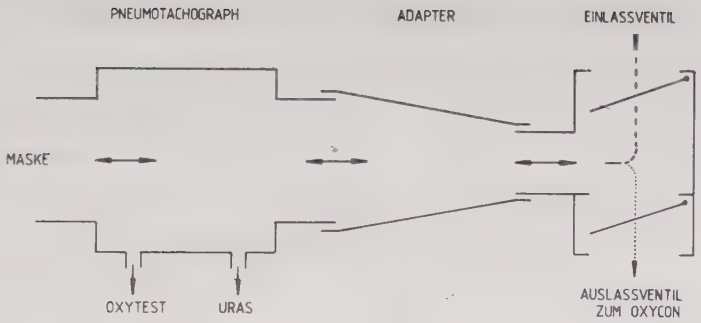

Abb. 6: Schematische Darstellung der Adaption beider Spirometrieanlagen

- - - Weg der Inspirationsluft

. . . Weg der Exspirationsluft

2.3.5. Versuchspersonen

Für die Untersuchungen stellten sich 10 männliche gesunde Probanden im Alter von 22 bis 45 Jahren zur Verfügung. Das Durchschnittsalter betrug 26,7 Jahre, das Durchschnittsgewicht war 69,8 kg bei einer mittleren Körpergröße von 178,3 cm.

2.4. Statistische Auswertung der Meßergebnisse

Mit den bei den Belastungsuntersuchungen gewonnenen Wertepaaren (Oxycon P/Fenyves & Gut) wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt. Diese prüft die Art der Abhängigkeit zweier Merkmale (22). Im vorliegenden Fall wird untersucht, ob zwischen beiden Geräten ein Zusammenhang $y = f(x)$ besteht. Die Steigung b der Regressionsgeraden $y = bx + a$ ist der Regressionskoeffizient, die Konstante a verschiebt die Regressionsgerade in y-Richtung nach oben oder unten. Im Idealfall, d.h. wenn beide Anlagen dieselben Werte messen würden, wäre der Regressionskoeffizient $b = 1$ und $a = 0$.

Zusätzlich wurde das Konfidenzintervall der Steigung b berechnet. Es handelt sich hierbei um den Bereich, in dem die wahre Steigung mit der vorgewählten Wahrscheinlichkeit liegt. Als Signifikanzniveau wurde $\alpha = 0{,}05$ gewählt. Dies bedeutet, daß sich die wahre Steigung mit über 95 % Wahrscheinlichkeit im angegebenen Bereich befindet (27).

Die Korrelationsanalyse untersucht den Grad der Abhängigkeit zweier Merkmale (22). Der Korrelationskoeffizient kann Werte von $-1 \leq 0 \leq +1$ annehmen. Je näher er an -1 oder $+1$ herankommt, umso straffer ist der beobachtete Zusammenhang der beiden Variablen.

Die Regressions- und Korrelationsanalysen führten wir auf dem Tischcomputer HP 9810 (Fa. Hewlett Packard) des Sportmedizinischen Instituts der Universität Tübingen durch. +

+ Für die Beratung bei der statistischen Auswertung danke ich Herrn Professor Dr. Dietz und Herrn Deichsel vom Institut für Medizinische Biometrie der Universität Tübingen sowie Herrn G. Schubring vom Rechenzentrum für Datenverarbeitung der Universität Tübingen (Direktor Prof. Dr. Graef).

3. Ergebnisse

Nach Durchführung der im letzten Kapitel beschriebenen Untersuchungen wurden die mit beiden Spirometrieanlagen gleichzeitig gemessenen Werte für AMV und O_2-Aufnahme miteinander verglichen. Bei der relativen steady-state-Belastung wurden für AMV und O_2-Aufnahme jeweils 300 Wertepaare gewonnen, bei der "Vita maxima"-Belastung 129 und bei der intermittierenden Belastung 80 Wertepaare. Im folgenden soll ein kurzer Überblick über die durchgeführten Berechnungen gegeben werden:

a) In einem Vorversuch wurde mittels einer Eichpumpe die Gasuhr von Oxycon überprüft.

b) Von sämtlichen Meßwerten (Tab. I - X) wurden die Differenzen (Wert $_{\text{Oxycon P}}$ - Wert $_{\text{Fenyves}}$) berechnet. Ferner wurden von diesen Differenzen die Mittelwerte gebildet und miteinander verglichen.

c) Die Regressionsanalyse bzw. Regressionsgerade sollte zeigen, ob und inwieweit beide Anlagen in den Meßergebnissen übereinstimmen.

3.1. Überprüfung der Gasuhren mit einer Eichpumpe

Vor jeder spirometrischen Untersuchung mußte der Pneumotachograph der Anlage Fenyves & Gut mit einer Eichpumpe geeicht werden. Die Pumpe lieferte pro Kolbenhub genau 1 Liter. Mit dieser Handpumpe überprüften wir die Gasuhr

von Oxycon P. Die folgende Tabelle zeigt die hierbei ermittelten AMV-Werte.

Tab. XI: Vergleich der AMV-Werte einer Eichpumpe mit dem von Oxycon angezeigten AMV.

	Minutenvolumen in l/min						
Eichpumpe	6	12	20	30	40	60	100
AMV (Oxycon P)	6,3	12,6	20,7	31,1	41,0	61,8	100,9
	6,2	12,4	20,9	30,7	41,1	61,5	101,5
	6,5	12,3	20,6	31,1	41,4	62,5	101,7
	6,3	12,5	20,7	31,0	41,3	61,2	101,2
$\bar{x}$	6,32	12,45	20,72	30,97	41,20	61,75	101,33
Abweichung in %	5,3	3,8	3,6	3,2	3,0	2,9	1,3

Die Tabelle zeigt, daß die prozentuale Abweichung mit zunehmendem Durchflußvolumen kleiner wird.

3.2. Vergleich der Atemminutenvolumina

Von sämtlichen Wertepaaren wurde die Differenz $AMV_{(Oxycon)} - AMV_{(Fenyves)}$ ausgerechnet. Hierbei fiel auf, daß im Bereich AMV ≥ 40 l/min die Abweichungen überproportional groß waren. Daher wurden die Bereiche AMV ≥ 40 l/min und AMV < 40 l/min getrennt untersucht. Die folgenden Tabellen zeigen für jede Versuchsperson die Mittelwerte der Differenzen in diesen beiden Bereichen.

3.2.1. Vergleich der Atemminutenvolumina unter relativer steady-state-Belastung

Tab. XII: Mittlere Differenzen der Atemminutenvolumina

	AMV < 40 l/min			AMV ≥ 40 l/min		
Person	d	s	n	d	s	n
1	-0,92	0,81	24	+1,10	0,58	6
2	-2,28	1,21	25	+0,48	0,37	5
3	-1,04	1,01	24	+1,77	0,78	6
4	+0,78	0,67	25	+1,76	1,07	5
5	+1,58	0,75	24	+3,35	0,83	6
6	+0,33	0,66	24	-0,72	0,82	6
7	+0,43	0,63	30	-	-	-
8	+1,55	0,86	24	+3,53	1,01	6
9	+0,65	0,73	28	+2,70	0,57	2
10	+1,55	0,73	25	+2,70	0,73	5

d = Mittelwert der Differenzen $AMV_{(Oxycon)}-AMV_{(Fenyves)}$
s = Standardabweichung
n = Zahl der Wertepaare

Im Bereich AMV < 40 l/min lagen die Meßwerte von Oxycon im Gesamtdurchschnitt um 0,27 l/min (s=0,8 ; n=253) über denen der Anlage Fenyves & Gut.

3.2.2. Vergleich der Atemminutenvolumina unter "Vita maxima"-Belastung

Tab. XIII: Mittlere Differenzen der Atemminutenvolumina

	AMV < 40 l/min			AMV ≥ 40 l/min		
Person	d	s	n	d	s	n
1	-0,26	0,60	5	+3,53	2,13	9
2	-2,58	1,13	6	+4,95	3,08	8
3	+0,50	1,08	6	+5,46	3,27	5
4	+0,34	0,56	5	+7,35	3,83	11
5	+0,32	0,63	6	+3,43	1,68	4
6	+1,02	1,27	5	+6,11	2,63	7
7	+0,61	0,73	7	+4,17	1,59	6
8	+1,95	1,19	6	+8,75	4,47	6
9	+1,03	0,94	6	+7,28	4,30	8
10	+1,10	1,04	5	+5,48	1,90	8

d = Mittelwert der Differenzen
s = Standardabweichung
n = Zahl der Wertepaare

Im Bereich AMV <40 l/min lagen die Werte für Oxycon im Gesamtdurchschnitt um 0,4 l/min (s=0,92 ; n=57) über den Werten der Vergleichsanlage. Im Bereich AMV ≥ 40 l/min zeigte Oxycon P im Durchschnitt 5,77 l/min (s=2,96 ; n=72) mehr an.

3.3. Mittlere Differenzen der Werte ΔO_2 %

Die primäre Meßgröße des Sauerstoffanalysators von Oxycon ist ΔO_2 % (Sauerstoffgehalt der Inspirationsluft - Sauerstoffgehalt der Exspirationsluft).
Die folgenden Tabellen zeigen für die einzelnen Versuchspersonen die Mittelwerte der Differenzen $\Delta O_2\%_{(Oxycon)} - \Delta O_2\%_{(Fenyves)}$.

3.3.1. Vergleich der Werte ΔO_2 % unter relativer steady-state-Belastung

Tab. XIV: Mittlere Differenzen der Werte ΔO_2 %

	AMV <40 l/min			AMV ≥ 40 l/min		
Person	$\overline{\Delta O_2\%}$	s	n	$\overline{\Delta O_2\%}$	s	n
1	-0,87	0,81	24	-0,73	0,18	6
2	-0,61	0,26	25	-0,51	0,10	5
3	-0,79	0,36	24	-0,18	0,19	6
4	-0,65	0,25	25	-0,37	0,12	5
5	-0,75	0,21	24	-0,57	0,07	6
6	-1,02	0,27	24	-0,62	0,13	6
7	-0,90	0,54	30	-	-	-
8	-0,84	0,45	24	-0,04	0,12	6
9	-0,14	0,35	28	+0,08	0,42	2
10	-0,66	0,26	25	-0,55	0,06	5

$\overline{\Delta O_2}$ % = Mittelwert $\Delta O_2\%_{(Oxycon)} - \Delta O_2\%_{(Fenyves)}$
s = Standardabweichung
n = Zahl der Wertepaare

Im Bereich AMV < 40 l/min waren die Werte von Oxycon im Gesamtdurchschnitt um 0,72 % (s=0,32 ; n=253) niedriger als die Werte der Vergleichsanlage. Das bedeutet, daß die von Oxycon bei einem AMV von 10 l/min angezeigte O_2-Aufnahme um 72 ml/min niedriger ist als die der Vergleichsanlage.

Im Bereich AMV ≥ 40 l/min waren die ΔO_2-Werte von Oxycon im Durchschnitt um 0,42 % (s=0,14 ; n=47) niedriger.

3.3.2. Vergleich der Werte ΔO_2 % unter "Vita maxima"-Belastung

Tab. XV: Mittlere Differenzen der Werte ΔO_2%

	AMV < 40 l/min			AMV ≥ 40 l/min		
Person	$\overline{\Delta O_2 \%}$	s	n	$\overline{\Delta O_2 \%}$	s	n
1	-0,94	0,14	5	-0,25	0,21	9
2	-1,04	0,13	6	-0,48	0,19	8
3	-1,18	0,48	6	+0,08	0,21	5
4	-1,01	0,38	5	-0,19	0,35	11
5	-0,75	0,41	6	+0,23	0,29	4
6	-1,18	0,33	5	-0,10	0,14	7
7	-1,30	0,38	7	-0,22	0,22	6
8	-1,06	0,18	6	-0,34	0,15	6
9	-0,63	0,35	6	-0,15	0,26	8
10	-0,67	0,30	5	+0,16	0,29	8

$\overline{\Delta O_2}$ % = Mittelwert der Differenzen
s = Standardabweichung
n = Zahl der Wertepaare

Die ΔO_2-Werte von Oxycon lagen im Bereich AMV < 40 l/min im Gesamtdurchschnitt um 0,98 % (s=0,31 ; n=57) unter den Werten der Anlage Fenyves & Gut.
Im Bereich AMV ≥ 40 l/min waren die ΔO_2-Werte von Oxycon im Gesamtdurchschnitt nur um 0,15 % (s=0,24 ; n=72) niedriger als die Werte der Vergleichsanlage.

3.4. Regressionsanalyse der Atemminutenvolumina

3.4.1. Vergleich der Atemminutenvolumina bei der relativen steady-state-Belastung

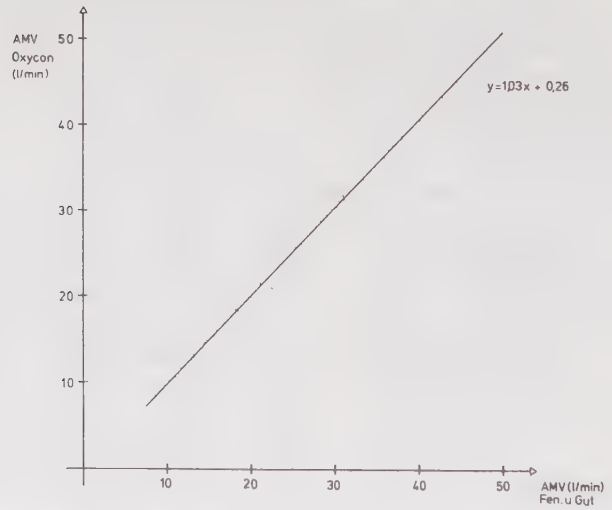

Abb. 7: Die AMV-Werte von Oxycon (y-Achse) sind gegen die AMV-Werte der Vergleichsanlage (x-Achse)

aufgetragen. Die Gleichung der eingezeichneten Regressionsgeraden wurde rechnerisch ermittelt. Die Wertepaare streuen nur minimal um die Gerade aufgrund der engen Korrelation.

Es wurde eine Regressionsanalyse mit allen Wertepaaren des Versuchs durchgeführt (y=Oxycon, x=Fenyves).

Regressionsgleichung:	$y = 1{,}03x - 0{,}26$
Konfidenzintervall:	$1{,}05 \geq b \geq 1{,}01$
Korrelationskoeffizient:	$r = 0{,}99$
Zahl der Wertepaare:	$n = 300$

Auch hier zeigt sich wie bereits in 3.1. beobachtet eine deutliche Differenz der AMV-Werte: Die Steigung b der Regressionsgeraden ist nicht genau 1,0 , sondern steiler: 1,03. Das heißt, daß die AMV-Werte von Oxycon immer um den Faktor 1,03 über den Werten der Vergleichsanlage liegen. Die Konstante - 0,26 l ist in diesem Zusammenhang vergleichsweise gering.

Mit der Korrelation von r = 0,99 haben wir eine hochsignifikante Abhängigkeit der verglichenen Meßwerte und damit nachgewiesen, daß Oxycon P eine Änderung der Atemminutenvolumina genauso empfindlich anzeigt wie die Anlage von Fenyves & Gut.

3.4.2. Vergleich der Atemminutenvolumina bei der "Vita maxima"-Belastung

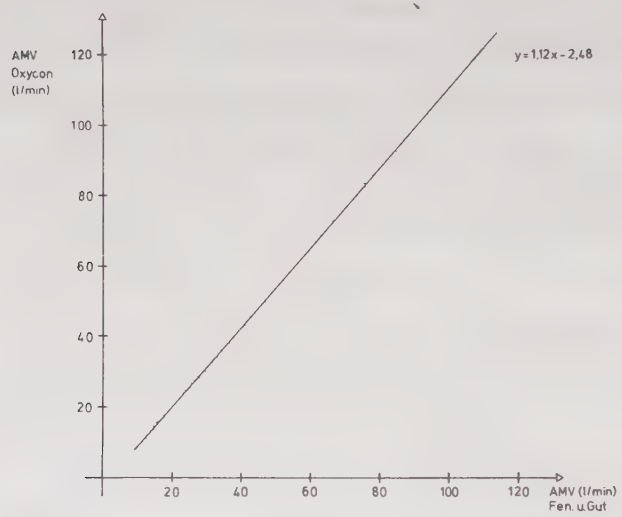

Abb. 8: $AMV_{(Oxycon)}$ ist auf der y-Achse gegen $AMV_{(Fenyves)}$ auf der x-Achse aufgetragen. Die Regressionsgerade wurde rechnerisch ermittelt. Die geringe Streuung der Werte um die Gerade läßt eine enge Korrelation erkennen.

Analog zur relativen steady-state-Belastung wurde eine Regressionsanalyse aller Wertepaare durchgeführt (n=129).

Regressionsgleichung:	$y = 1,12x - 2,48$
Konfidenzintervall:	$1,13 \geq b \geq 1,11$
Korrelationskoeffizient:	$r = 0,998$

Bei diesem Versuch wurden sehr hohe AMV-Werte erreicht. Die Mehrzahl der Werte (72 von 129) entstammen aus dem Bereich AMV ≥ 40 l/min. Die schon in 3.2. beobachtete größere Differenz der AMV-Werte in diesem Bereich zeigt sich jetzt auch in dem relativ hohen Regressionskoeffizienten b = 1,12. Die Regressionsgerade ist also im Bereich AMV ≥ 40 l/min deutlich steiler. Als Vergleich sei noch einmal der Regressionskoeffizient b = 1,03 aus der relativen steady-state-Belastung angeführt, bei der die Mehrzahl der Werte (253 von 300) aus dem Bereich AMV < 40 l/min entstammt.

Es besteht jedoch trotz der Differenzen eine hochsignifikante Korrelation von r = 0,998, d.h. Oxycon P spricht auf Änderungen des AMV gleich an wie der Pneumotachograph der Vergleichsanlage.

3.4.3. Vergleich der Atemminutenvolumina bei der intermittierenden Belastung

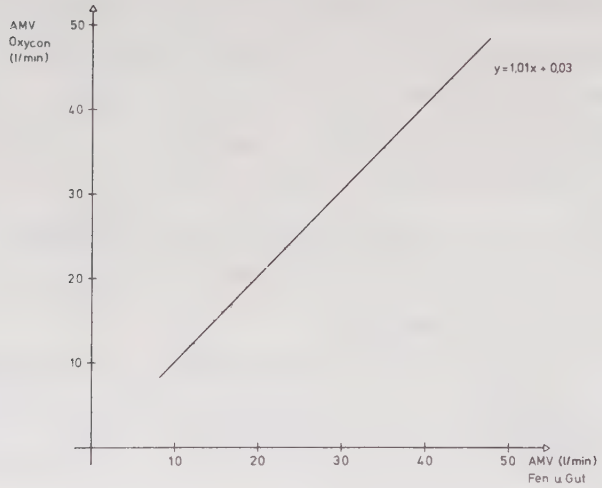

Abb. 9: Die AMV-Werte von Oxycon (y-Achse) sind gegen die Werte der Anlage Fenyves (x-Achse) aufgetragen. Die eingezeichnete Regressionsgerade wurde aus sämtlichen Wertepaaren des Versuchs errechnet.

Diese Untersuchung war speziell dafür ausgelegt, zu prüfen, wie die Meßgeräte auf plötzliche starke Änderungen von AMV und O_2-Aufnahme reagieren. Deswegen wurden zwei getrennte Regressionsanalysen durchgeführt.

Regressionsanalyse der in den Erholungsphasen gewonnenen Wertepaare (n=40):

Regressionsgleichung: $y = 1{,}04x - 0{,}4$

Konfidenzintervall: $1{,}11 \geq b \geq 0{,}97$

Korrelationskoeffizient: $r = 0{,}98$

Regressionsanalyse der in den Belastungsphasen gewonnenen Wertepaare (n=40):

Regressionsgleichung: $y = 1{,}02x - 0{,}15$

Konfidenzintervall: $1{,}07 \geq b \geq 0{,}96$

Korrelationskoeffizient: $r = 0{,}99$

Der Regressionskoeffizient der Erholungsphasen unterscheidet sich nur minimal von dem der Belastungsphasen. Dies läßt den Schluß zu, daß die Messung des Atemminutenvolumens bei plötzlichen Änderungen in ihrer Genauigkeit nicht beeinträchtigt wird. Die Korrelationskoeffizienten $r = 0{,}98$ (Erholungsphasen) und $r = 0{,}99$ (Belastungsphasen) zeigen auch hier wieder eine hochsignifikante Abhängigkeit in beiden Phasen.

3.5. Regressionsanalyse der Sauerstoffaufnahmewerte($\dot{V}\,O_2$)

Bei den folgenden Untersuchungen wurden die Sauerstoffaufnahmewerte (ml O_2/min) zugrunde gelegt. Diese errechnen sich aus AMV x ΔO_2 % (unter STPD-Bedingungen).

3.5.1. Vergleich der Sauerstoffaufnahmewerte bei der relativen steady-state-Belastung

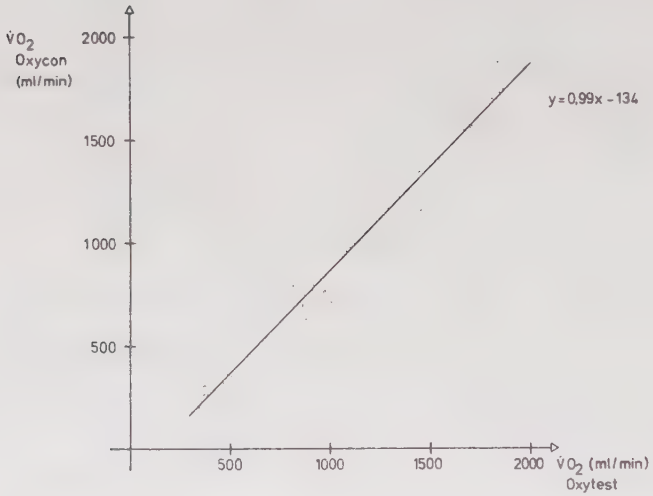

Abb. 10: Die $\dot{V}$ O_2-Werte von Oxycon sind auf der y-Achse gegen die Werte von Oxytest auf der x-Achse aufgetragen. Die Gleichung der eingezeichneten Geraden wurde rechnerisch ermittelt. Die Streuung der Punkte um die Gerade entspricht der Korrelation.

Die Regressionsanalyse mit allen Wertepaaren des Versuchs (n=300) ergab folgende Gleichung:

Regressionsgleichung:	$y = 0,99x - 134$
Konfidenzintervall:	$1,02 \geq b \geq 0,96$
Korrelationskoeffizient:	$r = 0,97$

Der Regressionskoeffizient b = 0,99 zeigt, daß Oxycon immer etwas niedrigere $\dot{V}\,O_2$-Werte als die Vergleichsanlage mißt. Dies entspricht auch der Beobachtung in 3.3.1.

Der Korrelationskoeffizient r = 0,97 ist etwas niedriger als bei den AMV-Werten, zeigt aber auch hier einen hochsignifikanten Zusammenhang der Meßwerte beider Anlagen.

3.5.2. Vergleich der Sauerstoffaufnahmewerte bei der "Vita maxima"-Belastung

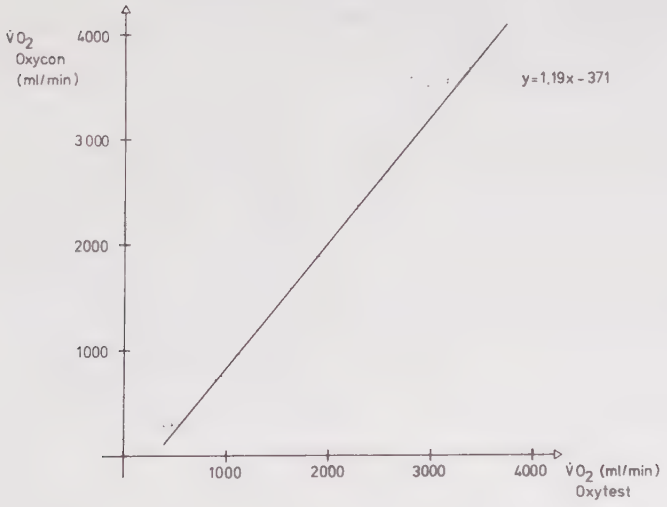

Abb. 11: Die Sauerstoffaufnahmewerte in ml O_2/min von Oxycon (y-Achse) sind gegen die Werte von Oxytest (x-Achse) aufgetragen. Die eingezeichnete errechnete Regressionsgerade schneidet die gedachte Idealgerade y = x bei ca. 1800 ml O_2/min.

Die Regressionsanalyse von 129 Wertepaaren ergab folgendes:

Regressionsgleichung:	$y = 1{,}19x - 371$
Konfidenzintervall:	$1{,}23 \geq b \geq 1{,}15$
Korrelationskoeffizient:	$r = 0{,}98$

Die Regressionsgleichung besagt, daß die $\dot{V}\,O_2$-Werte von Oxycon im Bereich unter 1800 ml O_2/min niedriger, im Bereich darüber höher als die Werte von Oxytest sind, wenn man die Idealgerade y = x zugrundelegt. Dennoch zeigt der Korrelationskoeffizient eine hochsignifikante Abhängigkeit der Meßwerte beider Anlagen.

3.5.3. Vergleich der Sauerstoffaufnahmewerte bei der intermittierenden Belastung

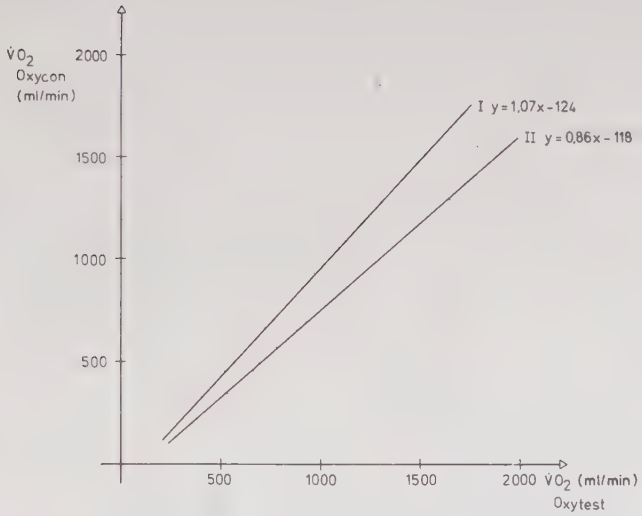

Abb. 12: Es werden die $\dot{V}O_2$-Werte von Oxycon (y) und Oxytest (x) dargestellt. Durch die Punktewolke laufen zwei Geraden: Gerade I entspricht der Regressionsgleichung der Erholungsphasen, Gerade II der Gleichung der Belastungsphasen.

Analog zu 3.4.3. wurden auch hier zwei Regressionsanalysen durchgeführt.

Regressionsanalyse der in den Erholungsphasen gewonnenen Wertepaare (n=40):

Regressionsgleichung: $y = 1{,}07x - 124$

Konfidenzintervall: $1{,}20 \geq b \geq 0{,}95$

Korrelationskoeffizient: $r = 0{,}94$

Regressionsanalyse der in den Belastungsphasen gewonnenen Wertepaare (n=40):

Regressionsgleichung: $y = 0{,}86x - 118$

Konfidenzintervall: $0{,}96 \geq b \geq 0{,}76$

Korrelationskoeffizient: $r = 0{,}95$

Hier treten erstmals deutliche Differenzen der Regressionskoeffizienten zwischen Erholungs- und Belastungsphasen auf.

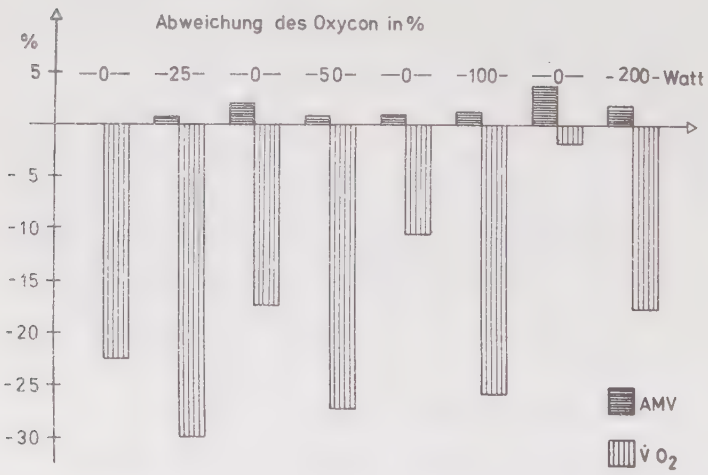

Abb. 13: Es werden die mittleren prozentualen Abweichungen für AMV und $\dot{V}\ O_2$ beim Intervallver-

such dargestellt. Während die Abweichungen der AMV-Werte zufällig um die Nullinie schwanken, sind die Abweichungen der Sauerstoffaufnahmewerte während der Belastungsphasen deutlich höher als während der Erholungsphasen.

	AMV	$\dot{V}\ O_2$
Mittlere Abweichung während der Erholungsphasen	+1,6 %	-13,1 %
Mittlere Abweichung während der Belastungsphasen	+1,2 %	-25,1 %

Die Minuszeichen besagen, daß die $\dot{V}\ O_2$-Werte von Oxycon bei diesem Versuch durchschnittlich um 13,1 % bzw. 25,1 % niedriger sind als die Werte der Vergleichsanlage.

3.6. Subjektive Angaben der Versuchspersonen

Alle Probanden gaben an, daß ab einem Atemminutenvolumen von ca. 50 l/min sich der Atemwiderstand von Oxycon ziemlich störend bemerkbar mache. Ab ca. 90 l/min wurde er so stark, daß ein Teil der Exspirationsluft zwischen Maskenrand und Gesicht hinausgeblasen wurde. Dies hatte aber auf den Vergleich beider Anlagen keinen Einfluß, da dieser Volumenverlust von beiden Geräten nicht gemessen wurde.

4. Diskussion

4.1. Diskussion der Methode

Das Ziel der Arbeit bestand darin, ein einfaches, klinisch wenig erprobtes Meßverfahren für Atemminutenvolumen und Sauerstoffaufnahme mit einer in der klinischen Routine erprobten Anlage zu vergleichen. Es ging dabei nicht um die Frage der Richtigkeit beider Methoden. Wir wollten vielmehr untersuchen, inwieweit sich die Atemwerte des Oxycon P von denen der Vergleichsanlage der Fa. Fenyves & Gut während einer klinischen Routineuntersuchung unterscheiden. Dies sollte nicht mittels Eichapparaten, sondern am Patienten untersucht werden. Besondere Einsatzmöglichkeiten für Oxycon P ergeben sich ja dadurch, daß auch in Alltagssituationen und unabhängig von standortgebundenen Meßplätzen auf relativ einfache Weise die Ventilationsgrößen AMV und $\dot{V}\,O_2$ gemessen werden können. Diese mußten bisher umständlich durch Sammlung der Exspirationsluft in Douglassäcken bestimmt werden (1,20). Das herkömmliche Verfahren hatte mehrere Nachteile: Die Dauer einer Meßperiode war durch das Fassungsvermögen des Sackes begrenzt; er mußte zwischen den Meßperioden ausgewechselt werden; die Bewegungsfähigkeit der Versuchsperson war durch das Tragen des Sackes einge-

schränkt; Schwankungen der O_2-Aufnahme während einer Meßperiode konnten nicht erfaßt werden (4). Oxycon P erlaubte nun eine kontinuierliche Messung von Atemminutenvolumen und Sauerstoffaufnahme und eine telemetrische Übermittlung der Daten.

4.1.1. Grundsätze der Versuchsplanung

Bei der Durchführung der Belastungsuntersuchungen beachteten wir folgende Grundsätze der Versuchsplanung (19): Um einen größeren Stichprobenumfang zu erhalten und um dadurch eine zuverlässigere Aussage zu ermöglichen, wurde jeder der drei Belastungsversuche zehnmal an verschiedenen Versuchspersonen wiederholt. Ein systematischer Fehler, z.B. eine Beeinflussung der O_2-Meßzelle durch den vorhergehenden Versuch, sollte dadurch ausgeschlossen werden, daß die drei Versuche bei den einzelnen Probanden einer zufälligen Reihenfolge unterworfen wurden.

Es wurden ein symmetrischer Versuchsaufbau beachtet und die Atemwerte beider Anlagen simultan gewonnen. Bei der Auswahl der Versuchspersonen wurden bewußt keine besonderen Kriterien angelegt, da sie lediglich als "Lieferanten von Atemwerten" dienen sollten.

4.1.2. Diskussion der Meßanordnung

Eine gleichzeitige Erfassung der Ventilationsgrößen wurde durch die Hintereinanderschaltung beider Anlagen gewährleistet. Nach Angaben der Herstellerfirma (Fenyves & Gut) wird die Empfindlichkeit und Linearität des Pneumotachographen durch den Anschluß eines kurzen, groß dimensionierten Schlauches nicht beeinflußt. Für die Messung von CO_2- und O_2-Gehalt der Exspirationsluft werden vom Pneumotachographen ca. 200 ml Luft pro Minute abgesaugt, weitgehend unabhängig vom Atemminutenvolumen. Trotzdem ergaben sich bei unseren Messungen deutliche Differenzen der Atemminutenvolumina, vor allem im Bereich über 40 l/min. Andererseits waren im Vorversuch beide Anlagen mittels einer Eichpumpe überprüft worden. Dabei war eine zufriedenstellende Übereinstimmung der Atemminutenvolumina gefunden worden (3.1.). Da bei unseren Versuchen sich die Abweichungen vor allem bei hohem AMV ergaben, ist anzunehmen, daß durch den dabei aufgetretenen erhöhten Atemwegswiderstand (s. 3.6.) in Oxycon P rückwirkend der Pneumotachograph beeinflußt wurde.

4.2. Diskussion der Ergebnisse

4.2.1. Diskussion der AMV-Werte

Bei den Belastungsuntersuchungen wurden die simultan ermittelten Werte miteinander verglichen. Es traten hierbei zum Teil deutliche Differenzen auf:
Wir haben in 3.2. gezeigt, daß vor allem im Bereich AMV ≥ 40 l/min erhebliche Abweichungen auftraten. Zum Beispiel lagen bei der Versuchsperson 8 während der "Vita maxima"-Belastung die AMV-Werte von Oxycon durchschnittlich 8,75 l über den Werten der Vergleichsanlage, das entspräche bei einem AMV von 80 l/min einer Abweichung von über 10 % (s. 3.2.2.). Für diese großen Differenzen haben wir keine Erklärung. Nach Angaben der Hersteller kann aufgrund der Meßmethode von einer Genauigkeit von $\pm$ 1 % ausgegangen werden (18,20). Dies kann aufgrund der Voruntersuchung von uns nur bedingt bestätigt werden (3.1.). Auch Eger fand bei seinen Untersuchungen zur Validität des Gerätes ähnliche Abweichungen, die mit zunehmender Durchflußrate geringer wurden (5). Die Differenzen traten offensichtlich erst beim Hintereinanderschalten der beiden Meßanlagen in dieser Größenordnung auf. Es liegt die Vermutung nahe, daß die Meßgenauigkeit des Pneumotachographen aufgrund des beobachteten hohen Atemwegswiderstandes (s.3.6. und 4.1.2.) beein-

trächtigt wurde.

Im Bereich AMV < 40 l/min sind die beobachteten Differenzen viel geringer: Im Gesamtdurchschnitt maß Oxycon P AMV-Werte, die um 0,27 l/min höher waren als die der Vergleichsanlage. Dies entspricht bei einem Atemminutenvolumen von 20 l/min einer Abweichung von ca. 1,5 % und liegt damit im Rahmen der vom Hersteller angegebenen Meßgenauigkeit. Offensichtlich machte sich hier der beim Hintereinanderschalten aufgetretene Atemwegswiderstand noch nicht so gravierend bemerkbar.

Für folgende Beobachtung haben wir keine Erklärung: Bei der relativen steady-state-Belastung trat bei der Person 2 eine mittlere Abweichung von -2,28 l/min auf. Diese Beobachtung fällt aus dem Rahmen, da Oxycon meistens höhere Atemminutenvolumina als die Vergleichsanlage gemessen hatte. Da auch bei der "Vita maxima"-Belastung bei derselben Person eine Differenz von -2,58 l/min vorliegt, muß hier ein systematischer Fehler in Erwägung gezogen werden, z.B. eine Fehlbedienung oder eine undichte Stelle in der Meßanordnung.

Die Regressionsanalyse bestätigt die vorhergehenden Feststellungen: Bei der relativen steady-state-Belastung entstammt die Mehrzahl der Werte aus dem Bereich AMV < 40 l/min; der Regressionskoeffizient b = 1,03 weicht nur minimal vom Idealwert 1,0 ab, d.h. beide An-

lagen messen annähernd dasselbe. Auch die hochsignifikante Korrelation von r = 0,99 zeigt, daß Oxycon P genauso empfindlich mißt wie die Vergleichsanlage.
Die großen Differenzen im Bereich AMV ≥ 40 l/min zeigen sich bei der Regressionsanalyse der "Vita maxima"-Belastung in einem deutlich größeren Regressionskoeffizienten b = 1,12. Jedoch besteht auch hier eine hochsignifikante Korrelation (s. 3.4.2.).

4.2.2. Diskussion der Sauerstoffaufnahmewerte
Über die Meßgenauigkeit der Meßzelle von Oxycon liegen nur wenig Angaben vor. Bleeker fand Abweichungen von $\pm$ 0,1 % O_2. Er hatte Vergleichsanalysen durchgeführt, indem er die Exspirationsluft am Ausgang von Oxycon in Douglassäcken sammelte (3). Eger maß relative Abweichungen zwischen - 9,1 und + 3,4 % (5).
Während bei der Messung des Atemminutenvolumens im Bereich AMV ≥ 40 l/min eine relativ große Differenz der Meßwerte festgestellt werden konnte (s. 4.2.1.), trifft für die O_2-Analyse das Gegenteil zu: Bei der "Vita maxima"-Belastung, bei der sehr viele Wertepaare im Bereich AMV ≥ 40 l/min gewonnen worden sind, haben wir eine mittlere Differenz von $\Delta O_2\%$ = -0,15 ($\pm$0,24), d.h. die Meßzelle Oxycon zeigt im Durchschnitt ein um 0,15 % niedrigeres $\Delta O_2\%$ an als Oxytest. Dies deckt

sich mit den Angaben von Bleeker (3).
Im Bereich AMV < 40 l/min beobachteten wir jedoch grössere Differenzen: Bei der steady-state-Belastung haben wir eine Abweichung von -0,72 % (± 0,32). Dies heißt beispielsweise, daß Oxycon P bei einem AMV von 20 l/min im Durchschnitt 144 ml O_2-Aufnahme weniger anzeigt als Oxytest.
Diese Beobachtungen lassen die vorsichtige Vermutung zu, daß die O_2-Meßzelle von Oxycon P bei einem großen Durchfluß genauer mißt. Hierbei wird jedoch unterstellt, daß die Vergleichsanlage Oxytest ein vom AMV völlig unabhängiges lineares Meßverhalten hat. Die Regressionsanalyse bestätigt das obige Ergebnis: Die relative steady-state-Belastung ergab einen Regressionskoeffizienten von b = 0,99, bei der "Vita maxima"-Belastung ist er jedoch größer als 1 (b = 1,19). Hier muß berücksichtigt werden, daß diese Aussage keinen Schluß auf die Meßgenauigkeit der Zelle zuläßt. Denn die hier verglichenen Werte sind das Produkt aus $\Delta O_2\%$ x AMV. Da bei diesem Versuch sehr hohe AMV-Werte erreicht wurden, wirken sich die großen Differenzen zwischen beiden Geräten bei der AMV-Messung (s.3.2.2.) fälschend auf die Sauerstoffaufnahmewerte aus.
Die Regressionsanalysen der intermittierenden Belastung zeigten eine erhebliche Differenz der Regressionsko-

effizienten: Erholungsphase b = 1,07 / Belastungsphase b = 0,86. Der Regressionskoeffizient der Erholungsphase ist ungefähr gleich groß wie bei der relativen steady-state-Belastung (3.5.1.). In den Belastungsphasen aber, in denen der O_2-Verbrauch in kürzester Zeit sprunghaft anstieg, zeigt Oxycon P deutlich weniger O_2-Verbrauch an als Oxytest. Da die AMV-Messung in Belastungs- und Erholungsphasen gleich exakt bleibt (3.4.3.), liegt diese Differenz der O_2-Werte mit grosser Wahrscheinlichkeit an der Meßzelle des Oxycon P. Sie spricht offensichtlich nicht so schnell auf einen schnellen Anstieg des Sauerstoffverbrauchs an wie Oxytest. Diese verlängerte Einstellzeit der Zelle bei plötzlichem starkem Anstieg des O_2-Verbrauchs ist auch deutlich aus der Abb. 13 ersichtlich. Eger fand bei seinen Untersuchungen Einstellzeiten bis zu 10 Minuten, die mit zunehmender Durchflußrate kürzer wurden (5).

4.3. Schlußfolgerungen für die Praxis

Abgesehen von Untersuchungen im Labor wurde außerhalb des Labors bisher die O_2-Aufnahme durch Sammlung der Exspirationsluft in Douglassäcken bestimmt (1). Durch Oxycon P ist die Bestimmung des Atemminutenvolumens und der Sauerstoffaufnahme auch während der für den Untersucher interessanten Belastungsphase ermöglicht

worden: Konjetzko hat bei 7 Fernmeldetechnikern, die 60 m hohe Umsetzmasten besteigen mußten, während ihrer Arbeit Atemminutenvolumen, Sauerstoffaufnahme und die Herzfrequenz telemetrisch mit diesem Gerät bestimmt (18). Hüllemann registrierte mit Oxycon P dieselben Parameter während eines Aufstiegs mit Ski und anschliessender Abfahrt. Das Empfangsgerät war 6 km entfernt (13). Die unter 1.3. erwähnte mangelhafte Übereinstimmung von Labor- bzw. Alltagssituation unterstreicht die Wichtigkeit objektiver Messungen auch bei Alltagsbelastungen außerhalb des Labors (12). Beim Vergleich von Oxycon P mit einer in der Praxis bewährten Spiroergometriegroßanlage wurde eine zufriedenstellende Übereinstimmung der Meßwerte gefunden. Inzwischen konnte Oxycon weiter verkleinert und im Gewicht reduziert werden. Damit kommt bei Untersuchungen der Mehrbelastung durch das Tragen des Geräts keine nennenswerte Bedeutung mehr zu. Insbesondere erscheint Oxycon P nach unseren Untersuchungen dafür hinreichend geeignet, die Größe der körperlichen Belastung bei einem detaillierten krankengymnastischen Übungsprogramm zur Mobilisation von Herzinfarktpatienten zu bestimmen (26). Die Differenzen bei hohem Atemminutenvolumen und die O_2-Differenzen bei niedrigem Durchfluß (s. 4.2.) bedürfen noch weiterer eingehender Untersuchungen.

5. Zusammenfassung

Die Arbeit vergleicht ein neuartiges tragbares Gerät zur telemetrischen Messung von Atemminutenvolumen und Sauerstoffaufnahme (Oxycon P) mit einer bereits bewährten Computer-Spiroergometrieanlage der Fa. Fenyves & Gut, Basel. Es wurden Belastungsuntersuchungen auf dem Fahrradergometer durchgeführt, wie sie in der Praxis üblich sind. Die gleichzeitig gewonnenen Meßwerte wurden miteinander verglichen.

Bei der Messung von AMV traten im Bereich über 40 l/min deutliche Differenzen der Meßwerte auf, die vermutlich auf den durch die Versuchsanordnung bedingten hohen Atemwegswiderstand zurückzuführen sind.

Die O_2-Analysen hingegen ergaben im Bereich unter 40 l/min größere Differenzen. Bei sehr schnellen Anstiegen des O_2-Verbrauchs konnte ein langsameres Ansprechen der Meßzelle von Oxycon P nachgewiesen werden. Diese verlängerte Einstellzeit machte sich aber erst bei einem speziell hierfür durchgeführten Versuch bemerkbar. Sie muß bei Feldversuchen mit entsprechend steilen Anstiegen des O_2-Verbrauchs mit berücksichtigt werden. Insgesamt ergab sich jedoch eine sehr enge Korrelation der Meßwerte. Unsere Untersuchungen zeigen, daß dieses tragbare, auch zu telemetrischen Messungen verwendbare Gerät für viele Feldversuche mit hinreichender Zuverlässigkeit benutzt werden kann.

6. Tabellenanhang

Tabelle I

AMV und O_2-Aufnahme der Vergleichsanlagen
Versuchsperson 1: S. Hans-Peter, 23 J., 178 cm, 70 kg

Belastungs-stufe	AMV Oxycon	AMV Fenyves	O_2-Aufnahme Oxycon	O_2-Aufnahme Fenyves
0	13,2	13,9	352	445
25	17,2	18,3	516	761
0	15,5	15,9	516	599
50	20,3	20,6	642	944
0	15,6	16,6	624	659
100	24,1	25,2	863	1255
0	22,0	21,9	916	917
200	36,8	37,5	1410	1816
0	12,6	13,2	378	478
	13,3	14,0	343	447
	11,1	11,8	250	324
	11,0	11,4	229	353
	10,5	12,3	245	426
	11,3	13,4	292	489
25	21,2	22,8	636	927
	24,2	26,0	746	994
	25,3	26,8	716	1040
	24,5	26,3	714	1058
	24,4	26,3	711	1003
	26,5	28,1	772	1045
50	27,5	28,5	779	1146
	30,2	31,9	956	1307
	30,9	32,3	1029	1339
	29,3	30,4	925	1284
	31,8	32,6	1059	1338
	32,3	32,5	1002	1294
75	34,3	34,6	1057	1403
	34,7	34,3	1156	1460
	37,9	38,4	1262	1555
	36,4	36,5	1182	1457
	38,5	38,1	1282	1523
	38,8	38,1	1260	1568
100	41,6	40,8	1386	1730
	47,8	47,0	1632	1887
	48,3	47,0	1528	1884
	45,2	44,6	1506	1841
	50,9	48,7	1738	1875
	48,4	47,5	1572	1918

Tabelle I - Fortsetzung

Belastungs-stufe	AMV		$\dot{V}O_2$-Aufnahme	
	Oxycon	Fenyves	Oxycon	Fenyves
0	15,1	15,9	339	526
	17,1	17,7	399	572
50	29,3	29,8	732	1071
	35,4	35,6	1032	1302
100	40,0	39,2	1199	1523
	40,6	40,5	1454	1669
150	45,8	44,6	1716	1960
	60,9	58,8	2333	2272
200	65,8	63,1	2466	2492
	71,7	68,0	2687	2598
250	85,6	79,9	3065	3046
	88,4	83,5	3018	3007
300	93,5	88,3	2881	2838
	99,3	93,1	2729	2777

Tabelle II

AMV und O_2-Aufnahme der Vergleichsanlagen
Versuchsperson 2: T. Wolfgang, 22 J., 178 cm, 67 kg

Belastungs-stufe	AMV Oxycon	AMV Fenyves	O_2-Aufnahme Oxycon	O_2-Aufnahme Fenyves
0	12,6	13,4	336	530
25	19,7	21,6	590	829
0	17,1	18,9	527	706
50	24,1	26,9	783	1119
0	17,4	19,3	623	789
100	27,5	30,3	939	1476
0	23,6	24,7	943	1008
200	39,0	41,8	1461	2023
0	12,6	12,9	378	445
	11,7	11,6	370	436
	8,3	8,9	263	367
	8,5	8,5	290	366
	9,2	10,4	322	465
	10,1	11,0	353	471
25	23,7	26,6	809	949
	23,9	26,6	716	989
	22,8	24,7	759	974
	22,4	25,5	727	1058
	25,2	28,0	839	1147
	24,3	26,8	769	1088
50	25,4	28,4	825	1233
	27,0	30,0	1034	1349
	29,5	32,7	1105	1418
	29,5	33,4	1105	1444
	28,9	31,7	1059	1350
	29,0	32,1	1111	1389
75	31,5	35,9	1207	1551
	32,6	35,4	1276	1567
	32,9	36,1	1370	1602
	31,6	34,8	1342	1561
	32,9	34,7	1425	1570
	34,2	35,5	1395	1550
100	36,8	39,4	1440	1773
	40,6	40,3	1690	1818
	43,9	43,5	1682	1886
	43,4	42,9	1626	1845
	43,4	43,3	1554	1814
	45,6	44,5	1671	1865

Tabelle II - Fortsetzung

Belastungs-stufe	AMV		$\dot{V}O_2$-Aufnahme	
	Oxycon	Fenyves	Oxycon	Fenyves
0	12,8	13,5	298	440
	11,0	12,7	275	457
50	28,1	31,4	725	1179
	29,3	32,3	878	1278
100	32,8	36,4	1120	1675
	36,2	39,4	1356	1822
150	48,8	48,2	1829	2132
	56,7	55,6	1983	2316
200	63,5	59,7	2274	2521
	72,8	68,9	2667	2844
250	85,7	77,8	2926	3038
	92,8	86,4	3168	3403
300	112,2	105,1	3831	3795
	125,2	116,4	3857	3824

Tabelle III

AMV und O_2-Aufnahme der Vergleichsanlagen
Versuchsperson 3: H. Heimo, 23 J., 179 cm, 69 kg

	AMV		O_2-Aufnahme	
Belastungs-stufe	Oxycon	Fenyves	Oxycon	Fenyves
0	14,0	13,9	356	518
25	17,7	17,5	449	855
0	16,0	15,6	542	702
50	21,3	21,9	649	1079
0	18,9	18,7	672	766
100	22,5	22,3	781	1193
0	23,9	24,0	1072	1003
200	36,4	35,6	1294	1654
0	13,8	15,4	288	547
	13,2	14,1	320	510
	9,6	10,2	265	389
	11,0	12,1	312	481
	11,9	12,9	318	493
	12,1	13,1	344	499
25	20,2	21,8	574	897
	20,7	22,9	657	983
	21,0	22,5	684	978
	21,2	22,8	708	1009
	21,0	22,6	772	995
	21,6	23,7	740	1017
50	23,6	25,7	848	1159
	26,2	27,5	1050	1226
	27,6	30,5	1060	1318
	27,0	28,7	1060	1250
	26,7	27,4	1026	1210
	28,3	30,o	1087	1301
75	29,9	30,3	1174	1342
	33,7	33,5	1295	1464
	35,8	34,8	1405	1426
	36,4	35,5	1338	1451
	35,5	35,5	1334	1448
	37,1	36,5	1302	1478
100	40,9	39,6	1537	1619
	42,7	40,6	1605	1704
	44,8	42,7	1796	1736
	47,4	46,2	1861	1803
	48,1	45,1	1768	1766
	49,7	48,8	1868	1846

Tabelle III - Fortsetzung

Belastungs-stufe	AMV		$\dot{V}O_2$-Aufnahme	
	Oxycon	Fenyves	Oxycon	Fenyves
0	14,9	14,7	328	520
	13,5	14,5	297	534
50	26,3	25,6	735	1077
	25,8	25,7	852	1211
100	31,5	30,8	1147	1500
	37,9	35,6	1668	1647
150	48,2	46,3	1877	1897
	59,9	56,9	2180	2033
200	78,4	73,3	2787	2318
	96,2	88,9	2850	2594
250	98,8	88,8	2676	2341

Tabelle IV

AMV und O_2-Aufnahme der Vergleichsanlagen
Versuchsperson 4: K. Michael, 22 J., 182 cm, 70 kg

Belastungs-stufe	AMV		O_2-Aufnahme	
	Oxycon	Fenyves	Oxycon	Fenyves
0	12,2	12,3	326	463
25	22,6	21,4	698	816
0	14,6	13,6	415	530
50	20,0	18,7	652	884
0	15,1	14,6	605	654
100	27,5	26,2	965	1238
0	22,4	19,7	936	822
200	38,6	37,3	1548	1786
0	16,1	15,9	368	552
	17,4	17,1	368	504
	15,4	15,6	313	479
	16,9	16,9	358	486
	15,5	15,0	328	461
	14,8	15,2	351	509
25	24,3	23,2	638	833
	24,6	24,5	729	915
	25,9	24,8	745	878
	26,2	24,6	821	880
	23,8	23,6	725	888
	25,8	25,4	764	912
50	28,1	26,9	880	1050
	29,1	28,8	936	1122
	32,0	30,7	1111	1161
	30,6	28,8	1010	1090
	31,8	31,1	1050	1172
	31,2	30,6	1004	1165
75	35,1	33,6	1159	1293
	36,2	34,4	1287	1365
	36,3	36,0	1321	1412
	37,7	36,1	1308	1390
	37,0	35,4	1284	1401
	36,6	35,1	1301	1409
100	41,3	40,5	1538	1676
	44,0	41,5	1751	1724
	44,6	44,0	1623	1803
	44,8	41,7	1669	1745
	39,8	39,3	1617	1741
	43,7	41,9	1702	1774

Tabelle IV - Fortsetzung

Belastungsstufe	AMV		O_2-Aufnahme	
	Oxycon	Fenyves	Oxycon	Fenyves
0	15,0	15,4	305	512
	15,3	15,3	311	492
50	29,2	28,8	718	1051
	30,1	29,4	892	1178
100	38,6	37,6	1503	1593
	44,2	42,7	1534	1813
150	55,0	51,5	1955	2104
	57,4	54,8	2041	2295
200	66,7	61,7	2484	2545
	76,0	68,0	3152	2834
250	83,0	75,9	3162	3054
	94,2	84,4	3828	3281
300	99,2	89,4	3947	3427
	102,5	94,1	3731	3401
350	116,9	104,9	3958	3348
	116,9	103,7	3661	3268

Tabelle V

AMV und O_2-Aufnahme der Vergleichsanlagen
Versuchsperson 5: A. Albin, 45 J., 175 cm, 73 kg

Belastungs-stufe	AMV Oxycon	AMV Fenyves	O_2-Aufnahme Oxycon	O_2-Aufnahme Fenyves
0	12,4	12,3	346	389
25	16,7	16,6	565	775
0	11,3	11,5	450	520
50	19,5	19,1	693	925
0	16,6	16,7	660	723
100	23,5	23,2	995	1134
0	22,7	23,0	980	986
200	35,3	35,1	1464	1608
0	13,3	12,3	333	435
	11,5	11,0	307	378
	12,4	11,3	352	426
	11,5	11,0	317	383
	13,1	12,1	350	410
	11,3	10,8	293	390
25	19,3	17,9	596	769
	20,1	18,9	722	793
	22,4	20,5	786	816
	21,8	20,6	728	848
	21,1	19,4	687	792
	21,8	20,6	765	858
50	22,8	20,8	780	951
	24,6	23,4	966	1080
	25,9	23,4	995	1059
	24,3	23,1	954	1086
	25,0	23,2	1044	1100
	26,6	24,0	1044	1081
75	29,5	27,9	1158	1315
	30,0	28,3	1228	1345
	30,4	28,1	1270	1327
	33,6	30,1	1403	1387
	32,5	30,9	1303	1397
	31,9	29,2	1226	1371
100	40,3	36,7	1649	1672
	41,9	38,7	1715	1794
	43,2	39,3	1696	1791
	42,0	39,3	1684	1825
	43,8	39,3	1720	1782
	43,8	41,6	1720	1852

Tabelle V - Fortsetzung

Belastungs-stufe	AMV		O_2-Aufnahme	
	Oxycon	Fenyves	Oxycon	Fenyves
0	12,3	12,2	281	391
	11,0	11,1	270	394
50	21,9	22,4	649	930
	25,4	24,8	946	1085
100	30,6	30,1	1192	1345
	35,7	34,4	1602	1564
150	44,4	43,2	1879	1884
	58,7	53,5	2385	2110
200	69,1	65,8	2925	2500
	82,0	78,0	3262	2731

Tabelle VI

AMV und O_2-Aufnahme der Vergleichsanlagen
Versuchsperson 6: S. Walter, 29 J., 178 cm, 78 kg

Belastungs-stufe	AMV Oxycon	AMV Fenyves	O_2-Aufnahme Oxycon	O_2-Aufnahme Fenyves
0	16,3	16,1	330	479
25	20,9	20,0	495	788
0	17,4	17,8	486	692
50	23,3	22,5	670	938
0	22,7	21,7	693	826
100	28,0	28,1	807	1169
0	31,5	29,5	1094	985
200	39,5	38,3	1102	1479
0	14,8	14,4	272	480
	14,1	14,2	259	460
	15,6	14,8	287	441
	15,8	15,5	277	473
	14,7	14,5	258	423
	15,1	14,6	303	474
25	19,4	19,4	438	730
	24,0	22,6	662	859
	25,1	24,3	713	901
	25,1	25,8	671	934
	24,6	23,9	637	908
	23,2	23,7	620	926
50	26,2	26,2	766	1078
	26,3	25,5	945	1076
	30,2	29,6	908	1205
	29,5	29,1	936	1165
	29,3	29,1	930	1201
	31,3	31,2	967	1201
75	33,4	34,5	1060	1364
	35,9	35,0	1229	1441
	35,3	35,4	1150	1459
	35,0	35,4	1199	1422
	36,7	35,9	1165	1456
	37,1	35,2	1240	1411
100	41,0	41,6	1336	1665
	42,0	43,4	1438	1824
	43,3	44,2	1519	1844
	40,1	41,8	1474	1748
	42,1	41,5	1582	1744
	41,6	41,9	1529	1787

Tabelle VI - Fortsetzung

Belastungs-stufe	AMV		O_2-Aufnahme	
	Oxycon	Fenyves	Oxycon	Fenyves
0	17,7	17,6	299	464
	17,5	16,7	296	461
50	24,2	22,8	512	883
	27,1	27,3	827	1147
100	36,8	33,8	1247	1473
	45,4	42,3	1577	1624
150	53,1	49,4	1888	1803
	63,9	58,3	2162	2006
200	69,6	64,9	2473	2315
	82,0	72,0	2780	2559
250	92,2	85,6	3043	2912
	107,3	98,2	3544	3156

Tabelle VII

AMV und O_2-Aufnahme der Vergleichsanlagen
Versuchsperson 7: V. Dieter, 34 J., 174 cm, 71 kg

	AMV		O_2-Aufnahme	
Belastungs-stufe	Oxycon	Fenyves	Oxycon	Fenyves
0	12,0	11,8	210	337
25	23,8	23,9	497	788
0	15,6	14,7	365	477
50	26,5	25,9	642	976
0	16,9	16,4	466	637
100	31,4	30,7	839	1284
0	23,3	23,3	778	936
200	43,4	43,2	1305	1759
0	11,0	11,2	206	400
	10,8	11,0	229	415
	10,2	10,2	216	376
	9,4	10,0	200	347
	9,6	9,8	188	368
	10,7	11,0	235	435
25	15,6	15,4	437	700
	18,4	18,3	624	882
	19,0	18,6	691	862
	18,5	18,2	642	855
	19,0	19,5	626	879
	19,9	19,8	708	883
50	21,4	21,2	761	970
	21,6	21,2	823	1070
	23,5	23,0	993	1126
	25,8	24,9	1092	1132
	25,6	24,7	976	1101
	25,5	25,3	908	1112
75	27,3	26,7	1017	1204
	28,8	28,4	1195	1306
	31,3	30,6	1273	1351
	30,5	30,4	1239	1366
	31,2	29,4	1295	1334
	31,6	31,2	1311	1365
100	31,5	30,8	1227	1434
	34,5	33,2	1489	1561
	35,2	34,9	1518	1636
	35,5	33,6	1564	1627
	37,3	35,6	1737	1666
	37,7	36,9	1563	1701

Tabelle VII - Fortsetzung

Belastungs-stufe	AMV		O_2-Aufnahme	
	Oxycon	Fenyves	Oxycon	Fenyves
0	13,4	13,6	226	447
	12,2	12,4	267	414
50	19,7	19,5	484	846
	24,6	23,6	854	1105
100	28,2	27,6	1004	1392
	32,7	31,5	1358	1598
150	38,0	36,3	1639	1869
	42,4	40,3	1900	1989
200	49,6	47,1	2181	2265
	58,0	53,8	2457	2466
250	64,0	59,4	2707	2578
	72,4	66,6	2756	2533
300	81,8	76,0	2701	2488

Tabelle VIII

AMV und O_2-Aufnahme der Vergleichsanlagen
Versuchsperson 8: H. Joachim, 23 J., 181 cm, 62 kg

	AMV		O_2-Aufnahme	
Belastungs-stufe	Oxycon	Fenyves	Oxycon	Fenyves
0	10,2	9,7	327	401
25	14,8	14,2	450	663
0	14,3	12,6	532	633
50	21,3	20,6	793	994
0	18,9	17,3	783	779
100	21,0	19,6	747	855
0	23,5	21,5	932	972
200	35,0	32,7	1359	1464
0	12,1	11,9	275	428
	11,7	10,3	307	370
	9,6	9,7	236	346
	10,4	9,3	281	380
	10,4	9,3	298	363
	10,2	9,8	267	371
25	20,8	19,3	597	921
	22,1	20,6	765	976
	22,3	20,9	755	971
	22,8	21,9	771	1008
	22,3	20,2	794	918
	21,5	21,2	745	985
50	23,6	22,6	936	1057
	28,2	25,3	1050	1086
	27,6	26,5	1049	1102
	30,5	27,9	1082	1160
	29,1	27,1	1008	1068
	29,9	28,4	1094	1091
75	30,6	28,4	1112	1191
	34,4	32,1	1251	1285
	35,3	33,2	1255	1331
	39,0	36,0	1384	1412
	35,2	32,5	1307	1320
	36,9	35,0	1343	1376
100	41,0	38,4	1527	1481
	45,4	42,2	1690	1592
	48,0	44,2	1769	1630
	50,4	45,8	1875	1626
	47,9	45,6	1699	1644
	49,2	44,5	1705	1611

Tabelle VIII - Fortsetzung

Belastungs-stufe	AMV		O_2-Aufnahme	
	Oxycon	Fenyves	Oxycon	Fenyves
0	10,6	9,5	292	377
	13,0	12,7	347	499
50	23,6	21,4	710	872
	28,7	27,1	959	1115
100	34,4	31,4	1236	1464
	37,8	34,3	1484	1678
150	45,5	41,2	1862	1921
	53,5	49,0	2368	2284
200	62,4	55,0	2606	2511
	74,2	66,2	2851	2787
250	95,7	82,4	3198	3038
	101,6	86,6	3564	3156

Tabelle IX

AMV und O_2-Aufnahme der Vergleichsanlagen
Versuchsperson 9: T. Siegfried, 23 J., 178 cm, 74 kg

	AMV		O_2-Aufnahme	
Belastungs-stufe	Oxycon	Fenyves	Oxycon	Fenyves
0	12,2	12,1	287	264
25	19,2	19,4	550	636
0	14,0	14,3	473	415
50	22,9	22,7	696	772
0	16,7	16,8	608	574
100	31,6	30,2	1014	1174
0	21,1	20,3	856	909
200	37,5	34,7	1487	1603
0	14,9	14,7	365	470
	13,0	13,2	329	424
	13,2	13,1	324	425
	14,5	14,4	381	471
	11,4	12,0	309	407
	15,5	15,0	472	522
25	19,9	19,3	656	776
	18,3	18,5	712	786
	20,7	19,3	803	798
	19,9	20,0	791	816
	19,4	18,9	772	789
	20,7	20,0	839	782
50	22,5	22,0	953	905
	22,6	21,8	1014	995
	24,7	23,4	1169	1050
	24,9	24,4	1115	1072
	25,1	24,5	1038	1034
	26,6	25,5	1103	1040
75	26,6	25,4	1261	1145
	28,1	25,4	1332	1158
	28,7	27,3	1383	1262
	28,5	27,6	1326	1213
	28,2	27,8	1313	1252
	30,7	29,8	1452	1338
100	31,9	31,1	1428	1425
	41,2	38,9	1917	1663
	39,2	37,0	1689	1571
	39,7	39,7	1713	1671
	41,1	38,0	1634	1593
	38,5	38,7	1595	1650

Tabelle IX - Fortsetzung

Belastungs-stufe	AMV		O_2-Aufnahme	
	Oxycon	Fenyves	Oxycon	Fenyves
0	15,2	14,4	384	465
	14,5	14,9	343	491
50	24,8	24,2	754	954
	27,3	26,1	1015	1050
100	30,1	27,8	1196	1339
	35,9	34,2	1669	1618
150	43,1	40,9	1785	1890
	50,9	48,4	2150	2134
200	58,8	53,9	2485	2391
	68,3	63,0	2831	2682
250	74,5	66,1	2898	2828
	87,0	77,2	3826	3107
300	102,9	92,4	3742	3339
	111,4	96,8	3678	3380

Tabelle X

AMV und O_2-Aufnahme der Vergleichsanlagen
Versuchsperson 10: S. Hans-Eberhard, 23 J., 180 cm, 64 kg

Belastungs-stufe	AMV Oxycon	AMV Fenyves	O_2-Aufnahme Oxycon	O_2-Aufnahme Fenyves
0	14,4	14,3	304	374
25	25,2	24,0	573	827
0	18,4	16,8	420	539
50	25,2	24,2	615	839
0	20,3	19,2	599	706
100	33,6	32,1	909	1244
0	26,1	24,1	837	998
200	47,9	46,0	1535	1800
0	14,2	13,2	336	324
	14,7	13,7	297	356
	14,8	14,1	324	356
	14,7	13,4	322	394
	14,3	13,5	289	338
	13,6	13,4	242	347
25	22,8	21,6	558	738
	21,4	20,4	632	788
	21,2	19,9	608	818
	23,1	22,1	741	946
	23,4	21,6	789	834
	23,5	22,1	693	863
50	25,7	24,7	825	955
	28,4	27,3	1008	1115
	29,9	28,5	1010	1152
	32,0	30,2	1160	1194
	32,3	30,3	1062	1156
	35,3	33,0	1044	1239
75	36,1	34,1	1127	1320
	36,0	33,6	1124	1283
	37,9	35,3	1214	1351
	35,9	34,5	1151	1356
	36,7	33,7	1209	1352
	38,4	35,2	1362	1407
100	39,8	38,0	1378	1481
	44,7	41,5	1471	1634
	45,4	41,8	1534	1641
	46,0	44,3	1553	1709
	47,4	44,8	1561	1714
	46,8	44,4	1542	1700

Tabelle X - Fortsetzung

Belastungs-stufe	AMV		O_2-Aufnahme	
	Oxycon	Fenyves	Oxycon	Fenyves
0	14,6	14,5	321	430
	15,5	15,3	302	457
50	29,3	27,7	717	893
	33,9	32,9	1061	1113
100	37,1	34,5	1192	1289
	44,1	41,6	1567	1589
150	52,4	48,5	1948	1861
	55,6	52,2	2116	2022
200	66,0	59,9	2623	2278
	82,4	75,5	3133	2593
250	92,2	84,9	3585	2804
	96,5	89,5	3507	2970
300	115,8	109,1	3816	3295

7. Literaturverzeichnis

1 Auchincloss, J.H. jr., Gilbert R., Bowman R.P., Baule G.H.: Determination of maximal oxygen uptake with unsteady-state measurements. J. appl. physiol. 31, 191-197 (1971)

2 Bleeker J.: Een draagbaar apparaat voor het continu meten van het zuurstofverbruik zowel in rust als tijdens arbeid. TNO-niews, 24, 658-661 (1969)

3 Bleeker J., Hoogendoorn M.: A portable apparatus for continuos measurement of oxygen consumption during work. Acta physiol. pharmakol., 15, 30 (1969)

4 Bonjer F.H.: Application of a portable apparatus for continuos regestration of oxygen intake. TNO-niews, 24, (1969)

5 Eger K.-H.: Untersuchungen zur Validität eines tragbaren Lungenfunktionsgerätes. Inaugural-Dissertation, Fachbereich: Theoretische Medizin der Universität Tübingen, (1981) Arbeit im Druck

6 Fenyves & Gut, Firma: Bedienungsanleitung der Spiroergometrieanlage

7 Gadermann E., Jungmann H., Metzner A., Schulz B.: Zur Beurteilung der Belastbarkeit kreislaufkranker Patienten im Alter. Fortschr. Med. 87, 691-693 (1969)

8 Hartmann & Braun: Gerätebeschreibung "Oxytest"

9 Hartmann & Braun: Gerätebeschreibung "Uras MT"

10 Firma Fritz Hellige+Co GmbH, Freiburg: Bedienungsanleitung für Oxycon P, 23.8.1973

11 Hollmann W., Hettinger Th.: Sportmedizin-Arbeits- und Trainingsgrundlagen.
Stuttgart: F.K. Schattauerverlag 1976

12 Hüllemann K.D.: Telemetrische Trainingsüberwachung bei Herzinfarktpatienten.
Ärztliche Praxis, 96, 5416, (1969)

13 Hüllemann K.D.: Psychischer Streß bei Skiabfahrten telemetrisch bestätigt.
Medical Tribune, 26, 24-26 (1972)

14 Hüllemann K.D., Matthes D.: Spiroergometrie mit elektronisch arbeitenden Geräten.
Med. Technik 4, 69-73 (1975)

15 Kirchhoff H.W.: Die Telemetrie als Hilfsmittel der Arbeits- und Leistungsphysiologie.
ASA 4, 112-116 (1969)

16 König K.: Fahrradergometertests in der kardiologischen Präventivmedizin.
Med. Welt 23 (1972)

17 König K., Murukas J., Roskamm H., Reindell H.: Das Verhalten von AMV und Atemfrequenz in Ruhe und bei Ergometerbelastung bei Jugendlichen sowie bei trainierten und untrainierten Erwachsenen.
Sportarzt und Sportmedizin 11, 395-459 (1965)

18 Konjetzko H., Elster J.: Leistungsbeurteilung am Arbeitsplatz durch telemetrische Messung des Atemminutenvolumens, der O_2-Aufnahme und der Herzfrequenz.
Medizinalmarkt/Acta medicotechnica, 24, 50-53 (1976)

19 Linder A.: Planen und Auswerten von Versuchen.
Stuttgart: Birkhäuser (1969)

20 Mellerowicz H.: Ergometrie
München: Urban & Schwarzenberg (1975)

21 Mellerowicz H., Roskamm H., Hettinger Th., Hollmann W., Klaus F.J., König K., Mies H., Reindell H., Stoboy E.: Vorschläge zur Standardisierung der ergometrischen Leistungsmessung. 2. Mitteilung
Zeitschr. f. Kreislaufforsch. 53, 856-860 (1964)

22 Oppel U.G., Rüger B.: Biomathematik, medizin. Statistik und Dokumentation.
München: Rathgeber-Verlag 1975

23 Rittel H.F., Waterloh E.: Entstehung, Erfassung und elektronische Verarbeitung von Signalen für die Atmung.
Prax. Pneumol. 27, 27-35 (1973)

24 Stegemann J.: Leistungsphysiologie
Stuttgart: Thieme 1971

25 Stein G.: Ergometrische und telemetrische Funktionsdiagnostik bei Infarktpatienten.
Mat. Med. Nordmark 28, 125-148 (1976)

26 Steich H.E.: Körperliche Belastung durch eine Bewegungstherapie zur Frühmobilisation von Herzinfarktpatienten.
Inaugural-Dissertation. Medizinische Fakultät (Klinische Medizin) der Universität Tübingen 1978

27 Walter E.: Biomathematik für Mediziner
Stuttgart: B.G. Teubner 1975

Für seine Unterstützung möchte ich
Herrn Professor Dr. D. Jeschke herzlich danken.

Lebenslauf

Am 26. April 1953 wurde ich, Siegfried Thoma, als Sohn des Fernmeldebeamten Walter und seiner Frau Charlotte geb. Nägele in Baienfurt geboren.
Nach vierjährigem Grundschulbesuch in Baienfurt trat ich in das Spohngymnasium Ravensburg ein, wo ich am 26. Juni 1972 das Abitur ablegte.
Im Wintersemester 1972/73 begann ich das Medizinstudium an der Universität Tübingen. Die ärztliche Vorprüfung legte ich im August 1974 ab. Nach dem zweiten Abschnitt der ärztlichen Prüfung immatrikulierte ich mich 1977 an der Universität Ulm, um am Elisabethenkrankenhaus Ravensburg das praktische Jahr zu absolvieren. Am 16. Oktober 1978 beendete ich mit der ärztlichen Prüfung mein Studium.
Ab Dezember 1978 arbeitete ich 1 Jahr als Assistenzarzt auf der chirurgischen Abteilung des städtischen Krankenhauses Weingarten. Vom 1. Dezember 1979 bis 28. Februar 1981 leistete ich meinen Grundwehrdienst als Truppenarzt ab. Seit 1. März 1981 arbeite ich als Assistenzarzt auf der Abteilung für Anästhesie und Intensivmedizin des Elisabethenkrankenhauses in Ravensburg.
Im Mai 1979 habe ich meine Frau Anita geb. Bertele geheiratet und im Juli 1980 kam unser Sohn Peter zur Welt.